



A. Neveu, C. Riou, R. Bonhomme
P. Chassin, F. Papy, éd.

l'eau dans l'espace rural

vie et milieux aquatiques

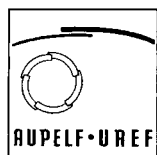
MIEUX COMPRENDRE



l'eau dans l'espace rural

vie et milieux aquatiques

UNIVERSITÉS FRANCOPHONES



l'eau dans l'espace rural

vie et milieux aquatiques

A. Neveu, C. Riou, R. Bonhomme
P. Chassin, F. Papy, éd.

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
147, rue de l'Université - 75338 Paris Cedex 07

INRA Éditions

Ouvrages parus dans la collection Mieux Comprendre

Principes de virologie végétale

Génome, pouvoir pathogène, écologie des virus
S. ASTIER, J. ALBOUY, Y. MAURY et H. LECOQ
2001, 488 p.

Le grain de blé

Composition et utilisation
P. FEILLET, 2000, 312 p.

Biology of lactation

J. MARTINET, L.-M. HOUEBINE,
H.H. HEAD, 1999, 686 p.

Principes des techniques de biologie moléculaire

D. TAGU, 1999, 136 p.

Sol : interface fragile

P. STENGEL et S. GELIN
1998, 222 p.

Les marqueurs moléculaires en génétique et biotechnologies végétales

D. DE VIENNE
Coédition INRA-CNED
1998, 200 p.

Assimilation de l'azote chez les plantes

Aspects physiologiques, biochimique
et moléculaire
J.-F. MOROT-GAUDRY (éd.)
1997, 422 p.

L'eau dans l'espace rural

Production végétale et qualité de l'eau
C. RIOU, R. BONHOMME, P. CHASSIN
A. NEVEU, F. PAPY (éd.)
1997, 414 p.

La pomme de terre

P. ROUSSELLE, Y. ROBERT
et J.-C. CROSNIER (éd.)
1996, 640 p.

Vie microbienne du sol et production végétale

P. DAVET, 1996, 380 p.

Nutrition des ruminants domestiques

R. JARRIGE, Y. RUCKEBUSH,
C. DEMARQUILLY, M.-H. FARCE,
et M. JOURNET (éd.), 1995, 921 p.

Sols caillouteux et production végétale

R. GRAS, 1994, 178 p.

Biologie de la lactation

J. MARTINET,
et L.-M. HOUEBINE
1993, 587 p.

Amélioration des espèces végétales cultivées

Objectifs et critères de sélection
A. GALLAIS et H. BANNEROT
1992, 768 p.

La régression non linéaire : méthodes et applications en biologie

S. HUET, E. JOLIVET,
et A. MESSÉAN
1992, 250 p.

L'épidémiologie en pathologie végétale : mycoses aériennes

F. RAPILLY, 1991, 318 p.

Cytogénétique des mammifères d'élevage

P. C. POPESCU, 1989, 114 p.

Les oligo-éléments en agriculture et élevage

Y. COÏC et M. COPPENET
1989, 114 p.

© INRA, Paris, 2001

ISBN : 2-7380-0968-9

ISSN (INRA) : 1144-7605
ISSN (AUF-UREF) : 0993-3948

Le code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique. Toute reproduction, partielle ou totale, du présent ouvrage est interdite sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris.

COLLECTION UNIVERSITÉS FRANCOPHONES
Ouvrages d'agronomie, de zootechnie et de médecine vétérinaire

Série Actualité scientifique

Amélioration et protection des plantes vivrières tropicales

C.-A. SAINT-PIERRE, Y. DEMARLY, AUF / John Libbey Eurotext, 1989, ISBN : 0-8619-6220-6

Biotechnologies, amélioration des plantes et sécurité alimentaire

E. PICARD, AUF / ESTEM, 1999, ISBN : 2-8437-1030-8

Biotechnologies du diagnostic et de la prévention des maladies animales

P.-H. DIOP, A. KAECKENBEECK, AUF / John Libbey Eurotext, 1994, ISBN : 2-7420-0074-7

Céréales en régions chaudes : conservation et transformation

M. PARMENTIER, K. FOUA-BI, AUF / John Libbey Eurotext, 1989, ISBN : 0-8619-6218-4

L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides

N. CHABLI, Y. DEMARLY, AUF / John Libbey Eurotext, 1991, ISBN : 0-8619-6252-2

La lutte anti-acridienne

A. ESSAID, AUF / John Libbey Eurotext, 1991, ISBN : 0-8619-6290-7

Le progrès génétique passe-t-il par le repérage et l'inventaire des gènes ?

H. CHLYAH, Y. DEMARLY, AUF / John Libbey Eurotext, 1993, ISBN : 2-7420-0001-1

Maîtrise de la reproduction et amélioration génétique des ruminants : apports des technologies nouvelles

P.-H. DIOP, AUF / Nouvelles Éditions Africaines du Sénégal, 1991, ISBN : 2-7236-1086-1

Quel avenir pour l'amélioration des plantes ?

J. DUBOIS, AUF / John Libbey Eurotext, 1995, ISBN : 2-7420-00075-5

Reproduction et production laitière

P.-H. DIOP, A. MAZOUZ, AUF / Serviced, 1996, ISBN : 9-9739-7531-6

Série Manuels

Amélioration des plantes et biotechnologies, 2^e éd.

Y. DEMARLY, M. SIBI, AUF / John Libbey Eurotext, 1996, ISBN : 2-7420-0102-6

Initiation à l'économie agro-alimentaire

L. MALASSIS, G. GHERSI, AUF / Hatier, 1992, ISBN : 2-2180-5014-5

L'eau dans l'espace rural : production végétale et qualité de l'eau (tome 1)

C. RIOU, R. BONHOMME, A. Neveu, P. Chassin, F. Papy, AUF / INRA Éditions, 1997, ISBN : 2-7380-0708-2

Pastoralisme : troupeaux, espaces et sociétés

P. DAGET, M. GODRON, AUF / Hatier, 1995, ISBN : 2-2180-6259-3

Post-récolte : principes et applications en zone tropicale

C. VERSTRAETEN, AUF / ESTEM, 1996, ISBN : 2-9094-5528-9

Précis de parasitologie vétérinaire tropicale

C. CHARTIER, J. ITARD, P.-C. MOREL, P.-M. TRONCY, AUF / Éditions TEC & DOC / EM Inter, 2000,
ISBN : 2-7430-0330-8

Série Savoir plus universités

Principes d'agriculture durable

I. NAHAL, AUF / ESTEM, 1998, ISBN : 2-8437-1028-6

Le catalogue général des publications de l'AUF est consultable en ligne :
<http://www.aupelf-uref.org/catalogue>

Avant-propos

La diffusion de l'information scientifique et technique est un facteur essentiel du développement. Aussi, dès 1988, l'Agence universitaire de la Francophonie (AUF), mandatée par les Sommets francophones pour produire et diffuser livres, revues et cédéroms scientifiques, a créé la collection *Universités francophones*. Lieu d'expression de la communauté scientifique de langue française, elle vise à instaurer une collaboration entre enseignants et chercheurs francophones en publiant des ouvrages, coédités avec des éditeurs francophones, et largement diffusés dans les pays du Sud grâce à une politique tarifaire préférentielle.

La collection se décline en différentes séries :

- *Actualité scientifique* : dans cette série sont publiés les actes de colloques et de journées scientifiques organisés par les réseaux thématiques de recherche de l'AUF ;
- *Manuels* : mis à jour régulièrement, ils suivent l'étudiant tout au long de son cursus en incluant les plus récents acquis de la recherche. Cette série didactique est le cœur de la collection et porte sur des domaines d'études intéressant l'ensemble de la communauté scientifique francophone tout en répondant aux besoins particuliers des pays du Sud. *Actualités bibliographiques francophones*, *Actualités linguistiques francophones*, *Histoire littéraire de la Francophonie* et *Sciences en marche* viennent compléter cette série ;
- *Prospectives francophones* : s'inscrivent dans cette série des ouvrages de réflexion donnant l'éclairage de la Francophonie sur les grandes questions contemporaines ;
- *Savoir plus universités* : cette nouvelle série se compose d'ouvrages de synthèse pour les étudiants qui font un point précis sur des sujets scientifiques d'actualité.

Universités francophones, en proposant une approche plurielle et singulière de la science, adaptée aux réalités multiples de la Francophonie, contribue à promouvoir la recherche dans l'espace francophone et le plurilinguisme dans la recherche internationale.

Remerciements

Jacques LEMOALLE (chercheur à l'Institut de Recherche pour le Développement de Montpellier) a bien voulu s'associer aux Éditions scientifiques pour relire les articles composant cet ouvrage. Nous le remercions vivement pour ce travail, le temps consacré, la pertinence de ses remarques et suggestions.

Les Éditeurs

Sommaire

Introduction	3
A. Neveu	

Les principaux écosystèmes aquatiques continentaux

1. L'habitat des cours d'eau à Salmonidés	9
J. Haury, P. Davaine	
2. Écologie des populations de poissons des cours d'eau à Salmonidés	31
J.-L. Baglinière R. Guyomard, M. Héland, D. Ombredane, É. Prévost	
3. L'écosystème lentique.	51
G. Balvay, J. Pelletier, J.-C. Druart	
4. Dynamique et gestion des populations de poissons des lacs péri-alpins	77
D. Gerdeaux	

Évolution et gestion de la qualité des écosystèmes aquatiques

5. Évolution naturelle - Évolution anthropique	97
G. Barroin	
6. Maîtrise de la charge externe en phosphore des plans d'eau et fonctionnement des bassins versants.	113
J.-M. Dorioz, P. Blanc	
7. La salmoniculture : besoins en eau et impacts	133
A. Fauré	
8. Les étangs et les ressources en eau	151
H. Le Louarn, A. Neveu	

Incidences des perturbations sur la faune aquatique

9. Le poisson : cible et révélateur de la pollution chimique	173
G. Monod	

10.	Les amphibiens, bio-indicateurs et bio-intégrateurs des perturbations de l'espace rural	199
	A. Neveu	
11.	État actuel de la diversité des poissons et écrevisses des eaux douces de France	215
	H. Le Louarn	
12.	Les invertébrés aquatiques, bio-indicateurs de perturbations. Détermination de la qualité des cours d'eau par l'IBGN	223
	A. Neveu	

Méthodologies d'approche expérimentale des écosystèmes aquatiques

13.	Les systèmes aquatiques semi-naturels : utilisation en écologie expérimentale	233
	C. Bry	
14.	Application des mésocosmes aquatiques à l'écotoxicologie expérimentale .	255
	T. Caquet, L. Lagadic	

Glossaire	275
---------------------	-----

Index	279
-----------------	-----

Liste des auteurs	283
-----------------------------	-----

Introduction

Vie et milieux aquatiques est le deuxième tome de *L'eau dans l'espace rural*. Le premier, intitulé *Production végétale et qualité de l'eau*, mettait l'accent sur deux facettes du rôle de l'eau, d'une part en tant qu'élément indispensable à la vie des plantes (eau nécessaire aux cellules), d'autre part comme vecteur naturel de pollution. Dans ce dernier cas, la pollution agricole était surtout analysée, avec une approche centrée sur la notion de flux entre les structures agricoles et les milieux aquatiques récepteurs. Ces flux concernant aussi bien les minéraux (engrais), éléments présents à l'état naturel, que les produits synthétisés par l'homme (pesticides).

Dans ce nouvel ouvrage, un 3^e aspect du rôle de l'eau est abordé : l'eau comme support de vie, c'est-à-dire comme un substrat dont les propriétés particulières font que certains êtres vivants y trouvent de nombreux avantages. Sa viscosité relativement faible, sa densité moyenne permettent ainsi à certains animaux de réduire leurs dépenses de motilité. Sa capacité calorifique en fait un bon tampon thermique et isolant pour réduire les pertes énergétiques (la majorité des espèces aquatiques sont poïkilothermes). Son rôle de solvant de nombreux éléments permet des échanges directs entre le milieu externe et le milieu interne (rôle des branchies, de la peau). Tous ces avantages, stratégiques pour certaines espèces, ont un revers : la dégradation de la qualité de l'eau avec la présence de substances à des concentrations trop élevées, qui peuvent devenir toxiques. Cette fois l'eau solvant, l'eau vecteur, peut devenir dangereuse pour des êtres vivants qui croyaient y trouver quiétude et économie.

Les propriétés physicochimiques de l'eau sont certainement une des principales conditions qui ont permis la naissance de la vie il y a environ 3 milliards d'années. Même si certaines espèces ont cherché à s'affranchir de la contrainte aquatique, ce fut tardivement (– 300 m.a.), avec l'apparition des premiers conquérants des terres émergées. D'autres espèces sont restées, profitant au maximum de la couveuse originelle et du bien-être qu'elle procure. Généralement ces espèces ont du reste peu évolué au cours du temps. Pourquoi le faire puisque le support aquatique présente tant d'avantages et de sécurité ? Quelques espèces se sont ménagées cependant une sorte de sécurité avec une vie biphasique, une phase aquatique pour les larves, une phase aérienne pour les adultes (Batraciens). Mais la conquête de l'espace par l'homme qui, contrairement aux autres espèces, transforme de plus en plus son habitat pour l'adapter à son confort individuel et à sa démographie, tend à changer les règles de l'Évolution. L'eau, support vital que l'on aurait pu croire éternel subit de graves agressions ; ses qualités se dégradent et par là même son rôle de garantie de la Vie.

Dans cet ouvrage sont examinés les principaux écosystèmes aquatiques continentaux, c'est-à-dire les plus rares, les plus fragiles, possédant les plus larges interfaces et contacts avec les sources de polluants. Un des fils conducteurs est aussi de faire connaître les différentes compétences existant au sein de l'INRA au niveau du fonctionnement et de la gestion des eaux intérieures, tout en remplaçant celles-ci dans un contexte plus général.

Dans une 1^e partie deux grands types d'écosystèmes aquatiques sont examinés, à savoir les cours d'eau à Salmonidés et les grands plans d'eau, en particulier les lacs et surtout les lacs péri-alpins. Ce choix se justifie par l'importance en tant que réserves d'eau (en débit ou en volume) de ces systèmes, avec une qualité globalement correcte. Ces milieux permettent ainsi la subsistance de peuplements de Salmonidés (truites, saumons, ombles, corégones), bio-indicateurs d'une bonne qualité de l'eau et ressources exploitables renouvelables.

Pour chacun des deux grands types d'écosystèmes, deux approches sont effectuées : d'une part au niveau de l'habitat, d'autre part au niveau de la dynamique des populations de poissons, dans un contexte de ressources halieutiques, mais aussi de bio-indicateur d'état et d'évolution de la qualité de l'eau.

Dans un cours d'eau à truites, l'habitat est avant tout une notion spatiale en tant qu'environnement de l'espèce. L'échelle d'approche peut être très variable, depuis le microhabitat (le caillou, la pierre, ...) jusqu'au bassin versant. Dans tous les cas son importance fonctionnelle pour le poisson est analysée. Cette liaison habitat-espèce peut être perturbée par les activités humaines et le niveau de population à un instant donné dans un habitat donné peut devenir un bio-indicateur de la qualité écosystémique.

Le Saumon comme la Truite sont des ressources renouvelables exploitées, mais aussi des symboles d'eau pure et un patrimoine à conserver. Les connaissances actuelles montrent la complexité de leur stratégie de développement, de la dynamique de population, mais aussi leur grande capacité adaptative au moins au niveau de leur cycle biologique.

Les eaux stagnantes ont un fonctionnement très différent des eaux courantes, avec pour principe de base de tout recycler, comme un réacteur biologique pour les apports des bassins versants. Elles ont un rôle tampon important. La morphométrie de ces plans d'eau structure les peuplements de poissons selon un gradient vertical et transversal, contrairement aux cours d'eau à structuration essentiellement longitudinale, en raison du courant et du gradient trophique (hétérotrophe en amont, autotrophe vers l'aval).

Les lacs péri-alpins par leur taille et la qualité de leurs eaux possèdent une richesse pisciaire importante, donnant lieu à une exploitation halieutique d'intérêt (professionnelle et sportive). Cette exploitation de stocks naturels renouvelables est menacée par des apports excessifs en nutriments qui eutrophisent le milieu avec évolution des populations vers des espèces plus ubiquistes et de moindre intérêt. La réhabilitation est en route, mais elle s'effectue à long terme.

La 2^e partie s'intéresse plus particulièrement aux perturbations des écosystèmes aquatiques sous l'influence de différentes activités humaines. La diversité de celles-ci nécessite un choix qui est orienté sur 2 exemples : d'une part l'évolution de la qualité des

lacs en relation avec les apports des bassins versants, d'autre part l'évolution de la qualité des cours d'eau sous l'influence des activités aquacoles.

Dans le 1^{er} cas la réflexion porte sur la difficulté de discerner l'évolution naturelle d'un plan d'eau de celle qui est due à l'homme. On oublie trop souvent qu'il existe une évolution régulière, pour ne pas dire inéluctable, que l'on peut comparer à un vieillissement, de tous les plans d'eau. Ce phénomène naturel est accéléré par les apports souvent riches en phosphates des diverses activités de l'homme, apports qui augmentent au cours de l'histoire en relation avec la structuration des sociétés, au point de rendre la qualité de l'eau de plus en plus médiocre par accumulation d'une surproduction de matières organiques autoproduites. Le phosphore est en effet le principal facteur d'eutrophisation des eaux, contrairement à une idée préconçue accusant plutôt les nitrates. Ce flux de phosphore est difficile à étudier, ce d'autant qu'il est souvent étroitement lié aux particules minérales et organiques.

Le développement de certaines activités, comme la pisciculture, a un impact direct sur la qualité des eaux, mais généralement limité dans l'espace. La salmoniculture est consommatrice de très grosses quantités d'eau, ceci explique son développement sur les rivières à débits réguliers et importants ayant une eau de bonne qualité et fraîche. Elle peut aussi, par ses rejets dus à l'alimentation artificielle, émettre un flux non négligeable d'azote, de phosphore et de sédiments avec pour conséquence des perturbations biocénotiques en aval des rejets (nitrites, colmatage, antibiotiques). La pisciculture d'étang est plus conservatrice, elle consomme moins d'eau et, compte tenu du fonctionnement en réseaux trophiques, elle recycle la majorité des nutriments. Ses rejets sont faibles en relation avec une biomasse stabulée moins importante que celle de la salmoniculture intensive. Une phase critique subsiste cependant lors de la vidange où le flux de matières organiques et de sédiments peut être important. C'est une forme d'aquaculture plus économe, plus durable, ce qui explique son antériorité et sa diffusion dans les pays en voie de développement, qui cultivent plutôt des poissons omnivores (carpes) que carnivores (truites) permettant une plus forte production de protéines à l'hectare à bas coûts.

La 3^e partie concerne les impacts des activités humaines sur la faune aquatique. Quelques exemples sont analysés en particulier au niveau des poissons, des amphibiens et de la faune en macro-invertébrés benthiques. Dans tous les cas il est intéressant d'étudier ces animaux en tant que signaux d'alarme d'évolution de la qualité et du niveau de contamination de l'environnement aquatique. L'utilisation des macro-invertébrés est maintenant une méthode normalisée pour juger de la qualité des cours d'eau. Cette approche biologique complète les analyses physicochimiques classiques. Les approches plus écotoxicologiques sont particulièrement pertinentes dans la mesure où elles mettent en évidence des actions perturbantes à des concentrations très faibles de contaminants. Ces perturbations concernent principalement les processus physiologiques des individus d'une espèce (reproduction, croissance, respiration, etc.), qui à terme peuvent avoir des conséquences populationnelles.

La 4^e partie s'attache à montrer l'intérêt des approches expérimentales. Dans la nature les mesures sont avant tout comparatives et il y a des difficultés à établir les relations

causes-effets, faute de témoins validés ou de références initiales, ce qui entraîne souvent des critiques. L'approche en écologie expérimentale permet de restreindre le nombre de paramètres dont la variabilité peut être au moins partiellement contrôlée et de construire une référence (non perturbée). Ce genre d'étude se développe de plus en plus de façon à mieux comprendre certains phénomènes, mais ces reconstitutions de « portions de nature » présentent des frontières (effets de parois) absentes de l'espace naturel. Les résultats acquis sont difficiles à extrapoler en raison du transfert d'échelle nécessaire. Cette approche expérimentale, d'abord employée en écologie fondamentale, se développe de plus en plus en écotoxicologie, de façon à évaluer l'impact des doses sublétales de produits et si possible d'en analyser les effets au niveau des populations, voire des écosystèmes.

Eaux stagnantes, eaux courantes, eaux canalisées, eaux sauvages sont un seul et même support de la vie aquatique, miroir et mémoire de l'évolution de l'environnement dans lequel baigne l'espèce humaine. Une bonne raison pour le protéger et le réhabiliter.

A. NEVEU

PREMIÈRE PARTIE

Les principaux écosystèmes aquatiques continentaux

